

*Филиппов М.А., Бердников Ант. А., Бердников А.А.,
Худорожкова Ю.В., Алисова Г.В.*
ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет
им. первого Президента России Б.Н. Ельцина»,
г. Екатеринбург

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЗАКАЛЕННОГО СЛОЯ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ ПРИ ПЛАЗМЕННОМ НАГРЕВЕ

За последние десятилетия плазменная закалка (ПЗ) как технически простой и эффективный процесс упрочнения рабочих поверхностей деталей машин и инструмента получила быстрое развитие в промышленности. Использование плазменной закалки позволяет снизить износ деталей из конструкционных и инструментальных сталей, увеличить их стойкость и межремонтный ресурс, а также получить реальную экономию за счет повышения работоспособности и снижения объема закупок новых изделий. Особенно широкое применение этот метод скоростной закалки получил для прокатных валков, штампового и режущего инструмента, рельсов и рельсоправильных бандажей и других изделий из высокоуглеродистых сталей. Однако ряд вопросов формирования фазового состава, благоприятной структуры после ПЗ и их влияние в обеспечении эксплуатационной стойкости инструментальных сталей остается дискуссионным. Одним из таких вопросов является роль остаточного аустенита.

Особенности полученного в результате ПЗ структурного состояния обусловлены исходным составом и структурой сплава, временем нахождения металла выше критических точек и степенью гомогенизации аустенита при нагреве. Окончательное структурное состояние и свойства после ПЗ зависят от температуры нагрева и скорости охлаждения в температурном интервале наименьшей устойчивости аустенита, состава и размера его зерна и факторов, определяющих параметры термического цикла (рис. 1 *а–г*).

После плазменной обработки нормализованной стали У10 при силе тока дуги 150 А и скорости движения плазмотрона 2 см/с проявляется неоднородность исходной структуры (перлит и структурный свободный цементит в виде сетки по границам зерен (рис. 1 *в*). При нагреве сталей выше A_{c1} аустенит, состав которого близок к эвтектоидному, образуется в пределах перлитных колоний. В середине дорожки, где температура нагрева и время пребывания при этой температуре максимальны, возможно диффу-

зионное выравнивание концентрации углерода. Результат полноты протекания ПЗ – формирование на обработанной поверхности тонкого (~10 мкм) слоя мартенситно-аустенитной структуры с переменным содержанием остаточного аустенита в зависимости от режима обработки и состава аустенита (рис. 1г).

Характерная особенность структуры закаленного слоя после ПЗ – это большое содержание остаточного аустенита (до 30 %). Причина этого – в локальном увеличении содержания углерода в гамма-фазе при растворении карбидных фаз в заэвтектоидных сталях. В процессе охлаждения аустенит превращается в мартенсит с высокой твердостью. В верхней части снимка (микроструктура края закаленной дорожки после нагрева немного выше температуры A_{c1}) на рис. 1б видны темные перлитные колонии, превращение в которых еще не началось. В нижней части снимка микроструктуры на рис. 1б в основном закончилось превращение перлита в аустенит и началось растворение цементитной сетки. На рис. 1в показана микроструктура участка, температура нагрева в котором была несколько ниже температуры A_{cm} . В верхней части снимка можно видеть остатки перлита и раздробленной сетки вторичного цементита, а в нижней части снимка – мартенсит и остаточный аустенит. На рис. 1г – микроструктура середины дорожки ПЗ, нагретой выше температуры A_{cm} (мартенсит и остаточный аустенит).

Характерно при этом, что высокая скорость нагрева и охлаждения формирует резкую границу между исходной и превращенной структурой: в пределах одного зерна размером примерно 50 мкм часть одного зерна переходной зоны сохранила перлитную структуру, в то время как в другой части зерна прошло превращение перлита в аустенит при нагреве и мартенситное превращение – при охлаждении.

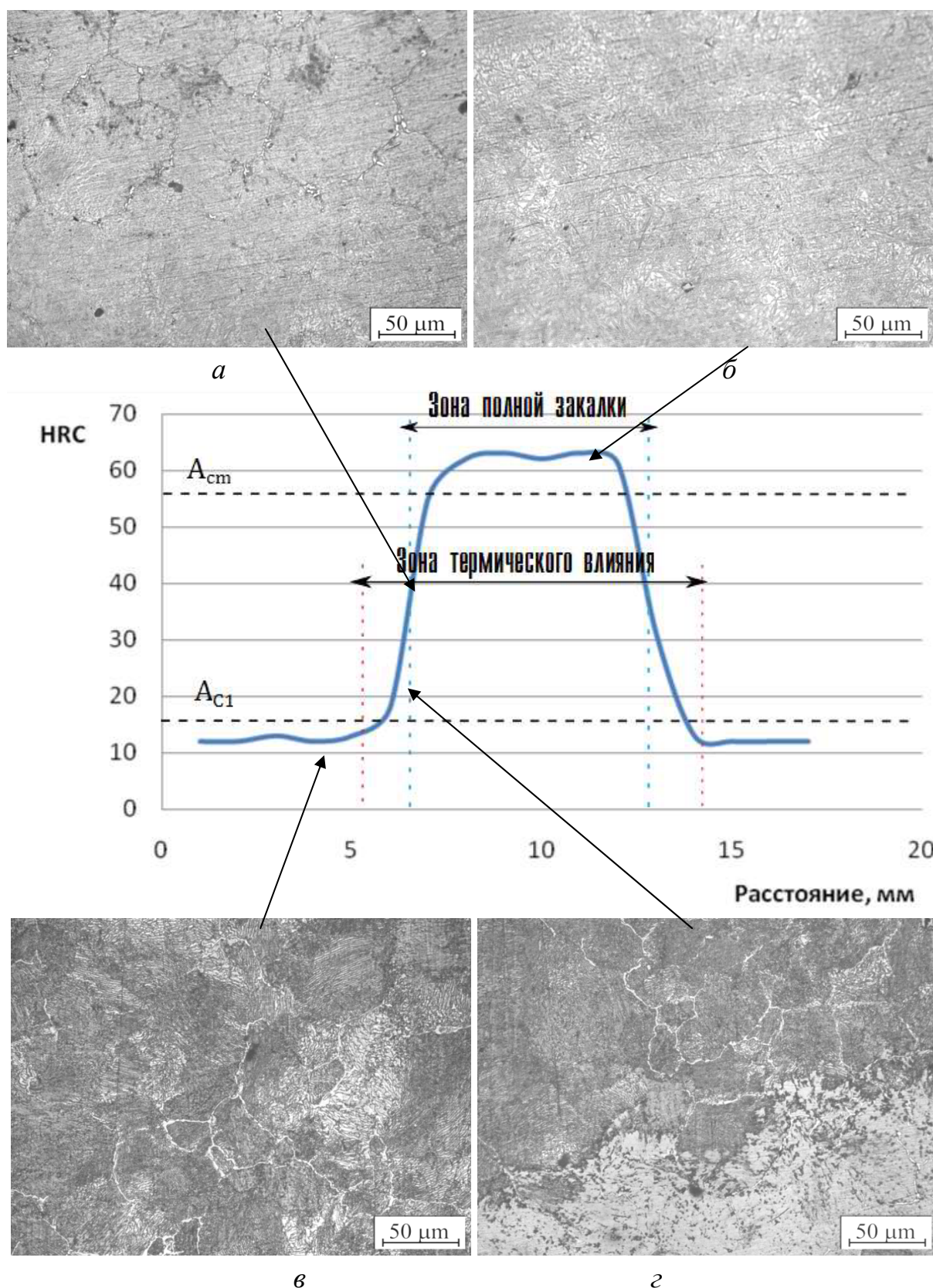


Рис. 1. Распределение твердости (HRC) по поверхности образца поперек дорожки закаленной стали У10. Горизонтальными пунктирными линиями схематически показаны значения температур, достигнутых в процессе плазменного нагрева; микроструктура после охлаждения в характерных

точках зоны плазменного влияния: *a* – нагрев ниже температуры A_{c1} (исходная микроструктура – перлит + вторичный цементит); *b* – нагрев немного выше температуры A_{c1} (исходная микроструктура в верхней части снимка и участки перлита и вторичного цементита + мартенсит в нижней части снимка); *в* – нагрев ниже температуры A_{cm} (остатки перлита, вторичный цементит и мартенсит в верхней части снимка, остатки цементита, мартенсит и остаточный аустенит в нижней части снимка); *г* – нагрев выше температуры A_{cm} (мартенсит и остаточный аустенит)

Таким образом, в результате закалки после плазменного нагрева и охлаждения углеродистых сталей формируется диссипативная структура, состоящая из мартенсита, обладающего очень высокой твердостью, и участков остаточного аустенита в местах обогащенного аустенита с содержанием углерода выше эвтектоидного, играющих роль релаксирующих прослоек при эксплуатации.